

Э. М. Баймуратова, И. А. Медведев, С. В. Картавцев  
Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск  
[ebaymuratova@inbox.ru](mailto:ebaymuratova@inbox.ru)

## РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА

*В работе изложено краткое описание конвертерного газа. Проанализировано производство конвертерного газа и обжиг металлических материалов. Рассмотрена проблема утилизации конверторных газов, а также затраты топлива. Рассчитано горение конвертерного газа.*

Ключевые слова: энергоэффективность; известняк; конвертерный газ.

*E. M. Baimuratova, Iv. A. Medvedev, S. V. Kartavtsev*  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

## DEVELOPMENT OF LIMESTONE FIRING TECHNOLOGIES IMPROVEMENT

*The paper provides a brief description of converter gas. The paper analyzes the production of converter gas and the burning of metal materials. The paper considers the problem of utilization of converter gases, as well as fuel consumption. The burning of converter gas is calculated.*

Keywords: *energy efficiency; limestone; converter gas.*

Конвертерные газы – вторичный энергетический ресурс черной металлургии, его потенциал оценивается в размере 1,25 млн т у. т. в год [1]. Конвертерный газ содержит до 85–90 % СО и имеет низшую теплоту сгорания 11000 кДж/м<sup>3</sup>. Выход газа за одну плавку конвертера объемом 400 т составляет 160 тыс. м<sup>3</sup>. Конвертерный газ имеет температуру 1600 °С, его теплоемкость составляет 1,4 кДж/м<sup>3</sup>.

Таким образом, с одной плавки конвертера образуется ресурс, обладающий энергией 1760 ГДж (60,08 т у. т.) [2]. Он характеризуется периодичностью выхода, высокой температурой, отсутствием запыленности. В настоящее время эти газы сжигаются на свече и теряются.

Трудность представляет собой периодичность выхода газов, например, при двух одновременно работающих конверторах выход газа может суммироваться на пике, либо падать до нуля (рис. 1)

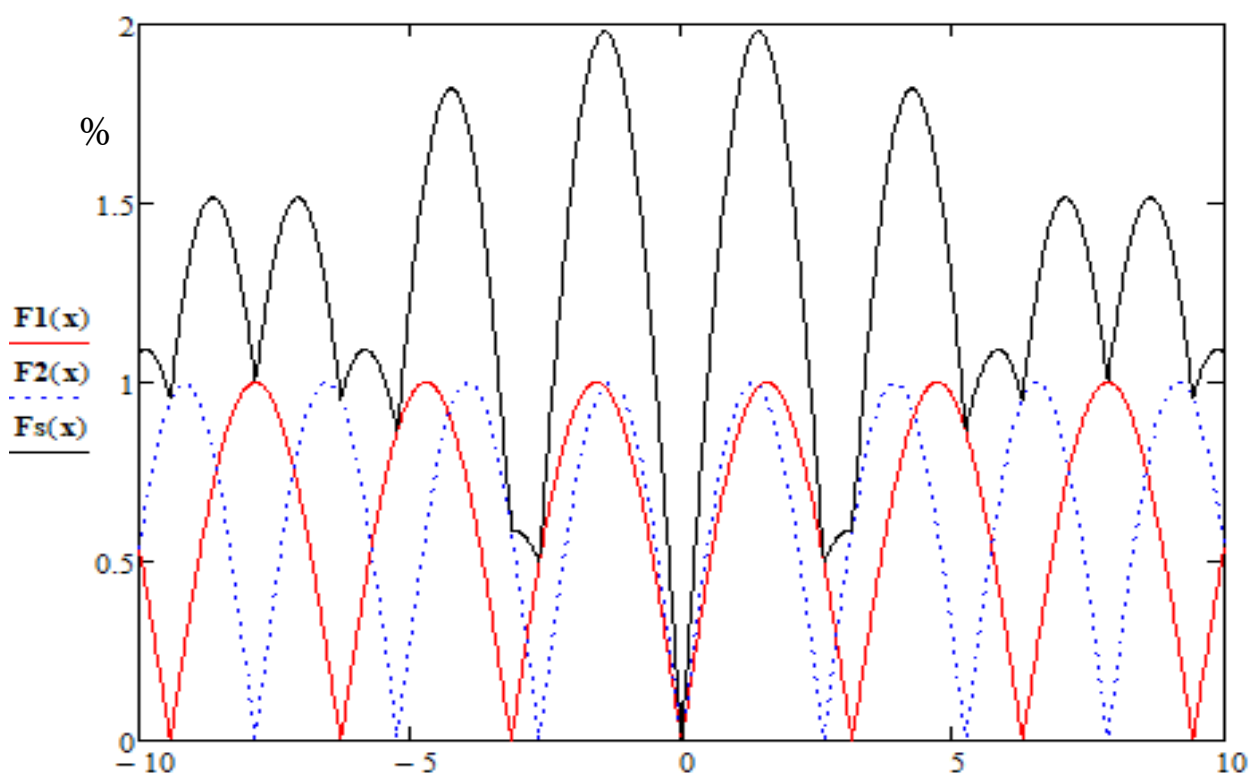
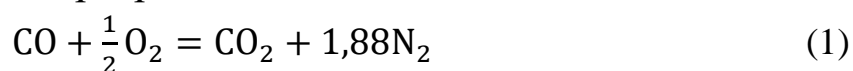


Рис. 1. График работы конверторов и выхода конверторных газов

*Расчет теоретического горения конвертерного газа.* Коэффициент избытка окислителя  $\alpha = 1,0$ . В качестве окислителя взят воздух, который состоит из 21 %  $O_2$  и 79 %  $N_2$ . Состав конвертерного газа, %:  $CO - 90$ ,  $CO_2 - 10$ .

Реакция горения конвертерного газа:



По теплоте образования исходных и конечных веществ при стандартных условиях найдем теплоту, которая выделяется при протекании реакции (1):

$$Q(57) = (\Delta H^0_{f_{298,15}})_{CO_2} - ((\Delta H^0_{f_{298,15}})_{CO} + \frac{1}{2}(\Delta H^0_{f_{298,15}})_{O_2}) = -283,01 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$Q = \frac{|Q(57)|}{0,0224} = 12633,033 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \quad (2)$$

где  $(\Delta H^0_{f_{298,15}})_{CO_2}$ ,  $(\Delta H^0_{f_{298,15}})_{CO}$ ,  $(\Delta H^0_{f_{298,15}})_{O_2}$  – соответственно теплота образования диоксида углерода:  $-393,54$  кДж/моль, оксида углерода  $-110,53$  кДж/моль, кислорода – ноль.

Количество воздуха, необходимого для осуществления процесса горения, найдем по формуле:

$$V_B = \frac{0,5 \cdot CO}{0,21} \quad (3)$$

где  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $C_nH_m$  – процентные содержания водорода, оксида углерода, метана и его гомологов соответственно. Подставляя эти значения получим:

$$V_B = \frac{0,5 \cdot 0,9}{0,21} = 2,143 \text{ м}^3 \quad (4)$$

Количество кислорода, необходимого для протекания процесса горения, найдем по формуле:

$$O_2 = V_B \cdot 0,21 = 0,45 \text{ м}^3 \quad (5)$$

Объем азота, содержащийся в воздухе, необходимом для горения, равен:

$$N_2 = V_B - O_2 = 1,693 \text{ м}^3 \quad (6)$$

Состав и объём продуктов сгорания найдем из уравнения (1):

$$CO_2 = 1 \cdot CO + CO_2 = 0,41 \text{ м}^3 \quad (7)$$

$$V_{\text{псг}} = CO_2 + N_2 = 2,693 \text{ м}^3 \quad (8)$$

Температура горения конвертерного газа находится через полиномы:

$$N_2 \cdot C_{N_2}(T) \cdot T + CO_2 \cdot C_{CO_2}(T) \cdot T = Q \quad (9)$$

Решая уравнение (9) находим температуру горения конвертерного газа, которая равна  $2520,318$  °С.

Известны решения по накоплению конвертерных газов с помощью газгольдера, чтобы перевести пульсирующие выходы газа в постоянные, но газгольдеры характеризуются большими объемами и взрывоопасностью.

Возможен и второй путь: использовать газы в том же пульсирующем режиме, в котором они выходят. Для этого определим, какие процессы могут использовать горячие газы,

например, обжиг металлургических материалов, таких, как известняк, сидеритовые руды.

Процесс обжига известняка представлен на графике (рис. 2).

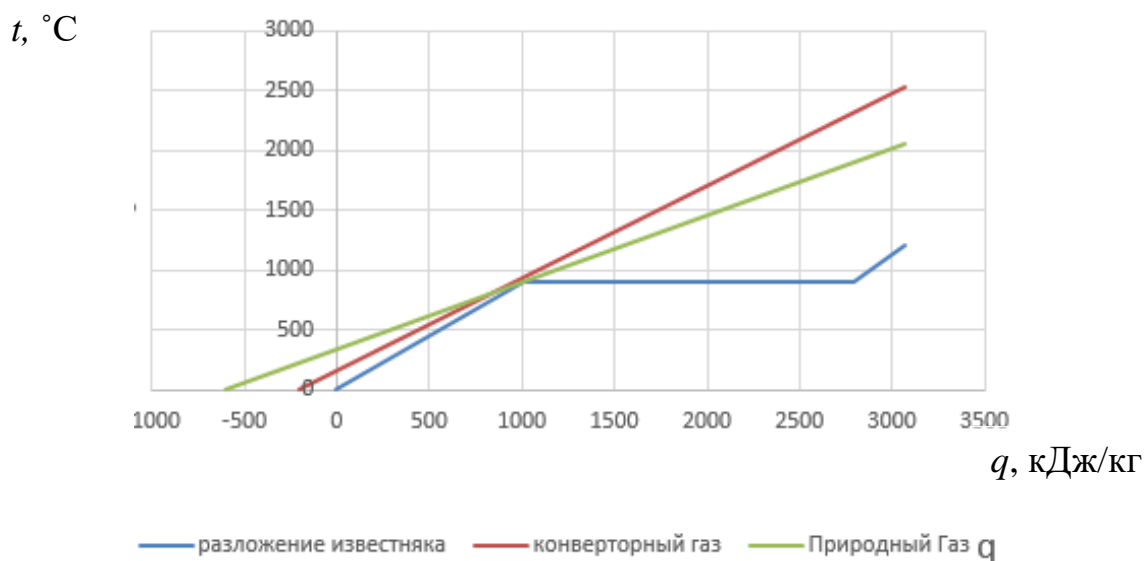


Рис. 2. Обжиг известняка

Обжиг характеризуется значительной изотермической площадкой 1790 кДж/кг  $\text{CaCO}_3$ . Идеальный теплоноситель для обжига известняка должен иметь температуру 2798 °С. Промышленное топливо имеет меньшую температуру: природный газ – 2046 °С; коксовый газ – 2200 °С; доменный газ – 1400 °С [3]. Самую близкую к идеальному теплоносителю температуру горения имеет конверторный газ, по нашим расчетам – 2520 °С.

Таким образом конверторный газ лучше всего подходит для усовершенствования технологии обжига известняка

#### Список использованных источников

1. Максимов А. А., Агапитов Е. Б. Совершенствование энергоэффективной схемы утилизации конвертерного газа // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ-2015) : сборник докладов IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 95-летию кафедры и университета. Екатеринбург, 26-27 марта 2015 г. Екатеринбург : УрФУ, 2015. С. 101–105.
2. Кривандин В. А. Теплотехника металлургического производства : Т. 1. Теоретические основы : учеб. пособие для вузов / В. А. Кривандин, В. В. Белоусов, Г. С. Сборщиков [и др.]. М. : МИСиС, 2001. 736 с.
3. Сазанов Б. В., Ситас В. И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1990. 304 с.